



The Effect of Biochar Applications on Some Biological Properties in the Root Zone of Wheat (*Triticum Aestivum* L.)

Funda Irmak Yılmaz^{1,a,*}, Emrah Albayrak^{1, b}

¹Ordu University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Ordu, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 06-03-2023 Accepted : 18-03-2023</p> <p>Keywords: Biochar Soil enzymes Microbial biomass Organic matter CO₂ production</p>	<p>In this study, the effectiveness of the hazelnut shell, which is used as a filling material for heating and furniture, on the microbial activity in the rhizosphere region of the wheat plant grown in different soils was investigated by converting it to biochar, an organic material. The effects on the biological properties (microbial biomass, CO₂-production, urease, acid phosphatase and alkaline phosphatase activities) of the wheat plant in the rhizosphere region were investigated by adding 0, 10 and 20 tons/ha of biochar to two different soils with sandy clay loam and sandy-loam texture under greenhouse conditions. According to the results of the research, while the urease enzyme activity was effective at a dose of 10 tons/ha in both textures, the acid and alkaline phosphatase enzyme activity was found to be more effective at a dose of 10 tons/ha in sandy loam texture and 20 tons/ha in sandy loam texture. In terms of CO₂ production and microbial biomass-C values, 10 tons/ha and 20 tons/ha doses stood out, respectively.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11(3): 566-570, 2023

Biyokömür Uygulamalarının Buğday (*Triticum Aestivum* L.) Bitkisi Kök Bölgesindeki Bazı Biyolojik Özelliklere Etkisi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 06-03-2023 Kabul : 18-03-2023</p> <p>Anahtar Kelimeler: Biyöçar Toprak enzimleri Mikrobiyal biomass Organik madde CO₂ oluşumu</p>	<p>Bu çalışma ile günümüzde ısınma amaçlı ve mobilyacılıkta dolgu malzemesi olarak kullanılan fındık kabuğunun organik bir materyal olan biyokömüre dönüştürülerek, farklı topraklarda yetiştirilen buğday bitkisinin rizosfer bölgesindeki mikrobiyal aktivite üzerine etkinliği araştırılmıştır. Sera şartlarında, kumlu killi-tın ve kumlu-tınlı tekstüre sahip iki farklı toprağa 0, 10 ve 20 ton/ha biyokömür ilave edilerek buğday bitkisinin rizosfer bölgesindeki biyolojik özellikleri (mikrobiyal biomass-C, CO₂-üretimi, üreaz, asit fosfataz ve alkalın fosfataz aktiviteleri) üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre üreaz enzim aktivitesi her iki tekstürde de 10 ton/ha dozu ile etkili olurken, asit ve alkalın fosfataz enzim aktivitesi kumlu-tın tekstürde 10 ton/ha dozunda, kumlu-tın bünyede ise 20 ton/ha uygulamasında daha etkili bulunmuştur. CO₂ üretimi ve mikrobiyal biyomass-C değerlerinde ise sırası ile 10 ton/ha ve 20 ton/ha dozları öne çıkmıştır.</p>

^a fundairmak@hotmail.com

^{id} <https://orcid.org/0000-0001-6356-4389>

^b albayrakemrah52@gmail.com

^{id} <https://orcid.org/0009-0007-9438-1324>



Giriş

Günümüzde küresel iklim değişikliğinin de etkisiyle, tarım alanları gün geçtikçe verimsiz hale gelmektedir (Korkmaz, 2007). Asit yağmurları, sera etkisi, afetler, yanlış tarım teknikleri, fazla miktarda kimyasal ilaç kullanımı sera etkisi ve kimyasal atıklar günden güne toprağı verimsizleştirmekte; bu tablo ise topraktaki ağır metal oranlarını artırmakta ve toprağın içerisindeki biyolojik aktiviteleri olumsuz etkilemektedir (Kılıç ve Korkmaz, 2012). Dolayısıyla araştırmacılar, toprağın verimini artırmak için doğal etmenlerden yararlanma ihtiyacı hissetmektedirler.

Biyokütle oksijenin sınırlı olduğu bir ortamda termo kimyasal dönüşüm işlemi ile elde edilen karbon bakımından zengin katı materyaller biyokömür olarak tanımlanmaktadır (Mosa ve ark., 2023). Biyokömürün, toprak verimliliği ve bitki gelişimi üzerine etkisi, biyokömürün ve uygulanan toprağın özellikleri ile uygulama dozu ve uygulanan ürünün isteklerinin karşılıklı etkileşimleri ile belirlenmektedir. Ancak, biyokömürün yüksek pH'sı, gözenekli yapısı ve yüksek yüzey yükü nedeni ile toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine doğrudan veya dolaylı yollarla etki ettiğini rapor eden çok sayıda araştırma yayınlanmıştır (Erdem, 2021). Ayrıca biyokömürün yüksek yük yoğunluğu ve yüzey alanı ile fitotoksik organik molekülleri adsorbe edebilme yeteneği ve toprak kökenli patojenleri baskılaması da bitkisel üretimdeki olumlu etkileri arasında sayılmaktadır (Lehmann ve ark., 2003).

Biyokütle yüksek sıcaklıkta ve oksijensiz ortamda pirolizi ile elde edilen biyokömür, bozulmaya karşı dirençli olan yapısı, yüksek spesifik yüzey alanı ve negatif yüzey yükü gibi özellikleri nedeni ile toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirebilecek ve bitkisel üretimin verimliliğini artıracak bir katkı maddesi olarak düşünülmektedir (Madari ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2017).

Dünyanın çoğu yerinde yetiştirilebilen ve çok fazla türü bulunan buğday, insan ve hayvan beslenmesine doğrudan doğruya etkili olmaktadır (Korkmaz ve ark., 2009). Buğdayın depolanabilme özelliğine sahip olması, üretiminin kolay olması, her iklimde yetişebilmesi ve çoğu yörede ekmeğin ham maddesini oluşturması nedeniyle en önemli tarımsal ürünlerden biri-olarak kabul edilmektedir. Tüm bu özelliklerin yanında dünya genelinde insanların protein kaynaklarının yarısından çoğunu sağlayan besleyici özelliği buğdayın önemini artırmaktadır (Dhanda vd., 2004).

Kimyasal gübrelemenin organik tarımdaki karşılığı organik gübreleme olup toprak kalitesinin artırılması ve bunun verime yansıtılması için bazı toprak düzenleyicilere ihtiyaç duyulmaktadır (Korkmaz ve ark., 2021). Sürdürülebilir biyokömür üretim modelinde, belediye atıkları, orman ve tarımsal atıklar, yeşil atık hammaddesi olarak kullanılmaktadır (Irmak Yılmaz ve Kurt, 2018). Organik karakterli bir tarımsal atık olan fındık kabuğundan biyokömür elde etmek ve uygulamak kar-maliyet analizleri yapıldığında daha üstün bir sonuç ile karşımıza çıkmaktadır. Biyokömürün toprak verimliliğini ve toprakların organik madde içeriğini iyileştirmesi yanı sıra, ağır metallerin topraktan uzaklaştırılması konusunda da

yardımcı bir materyal olma özelliği bulunmaktadır (Ni ve ark., 2006; Lehmann, 2007).

Biyokömürün toprak verimliliği üzerine olan etkisi, yararı besin elementlerinin miktarı, alınabilirliği (Lehmann ve ark., 2003) ve toprağın biyokimyasal özellikleri üzerine (Luo ve Gu, 2016) etkisi ile ilişkilidir. İlave edilen biyokömür özelliklerine de bağlı olmakla birlikte, toprakta su ve besin elementi tutumu veya mikrobiyal aktivite gibi özelliklere biyokömürün doğrudan etki ettiği düşünülmektedir (Atkinson ve ark., 2010; Lehmann ve ark., 2011). Ayrıca biyokömür uygulamalarının topraklarda fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), çinko (Zn) ve bakır (Cu) gibi besin elementlerinin yararıyı artırarak suretiyle bitki gelişimi ve verim üzerine etkili olduğu bildirilmektedir (Naeem ve ark., 2018). Yapılan bir başka çalışma da bitkilerde daha yüksek verim ve kalite elde etmek amacıyla sürdürülebilir toprak verimliliği sağlamak ve çevreyi korumak için mikoriza, mikorizalı biyoçarr ve diğer mikrobiyal ve organik gübrelerin veya tarım toprakları için kullanılması daha doğru olduğu belirtilmiştir (Adiloglu ve ark., 2019)

Bu çalışmada geniş C/N oranına sahip biyokömürün buğday yetiştirilen iki farklı tekstüre sahip toprağa değişik dozlarda uygulanması ile bitki kök bölgesindeki C/N oranının azaltarak toprak enzimleri, karbon mineralizasyonu, mikrobiyal biyomas ve bazı toprak özellikleri üzerine olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışmada sera şartlarında kumlu killi-tınlı ve kumlu-tınlı tekstüre sahip iki farklı toprağa değişik dozlarda biyokömür (0,10 ve 20 ton/ha) ve 100 mg N kg⁻¹ NH₄(NO₃)₂ olarak uygulanan saksılarda, buğday (*Triticum aestivum* L.) yetiştirilerek, biyokömürün bitki rizosfer bölgesindeki biyolojik özellikler (mikrobiyal biyomas- C, CO₂-üretimi, üreaz aktivitesi, asit ve alkalın fosfataz aktivitesi) üzerine etkileri değerlendirilmiştir.

Denemede Altınbaşak çeşidi buğday kullanılmıştır. Denemede, 2 farklı bünyeye sahip toprağa 3 değişik doz fındık kabuğundan üretilmiş biyokömür 3 tekrarlı olarak uygulanmıştır. Kullanılan materyaller ve karışım oranları (kuru madde olarak) Çizelge 1'de görülmektedir

Çizelge 1. Saksı denemesi uygulama konuları
Table 1. Topics of pot trial

Uygulama Dozları	
Kumlu killi tın	Kumlu tın
0 ton/ha	0 ton/ha
10 ton/ha	10 ton/ha
20 ton/ha	20 ton/ha

Çalışma sırasında kullanılan biyokömür 385°C sıcaklıkta hazırlanmıştır. Üretim süresi 264 dakikadır. Biyokömür, Ordu ilinde faaliyet gösteren bir fındık kırma fabrikasından temin edilmiştir. Denemede kullanılan biyokömürün ve toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Denemede kullanılan topraklar ve biyokömürün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 2. Soils used in the experiment and some physical and chemical properties of biochar

	OM(%)	C (%)	N (%)	C/N	pH	K (kg mg ⁻¹)	P (kg mg ⁻¹)	Mg (kg mg ⁻¹)	Fe (kg mg ⁻¹)
Kumlu Killi Tın	1,9		0,052		6,46	57	6,8		
Kumlu Tın	2,6		0,019		7,70	64	7,1		
Biyokömür	84,31	49	1,17	42	9,24	0,337	-	16,90	10,4

Çizelge 3. Biyokömür uygulamalarının bazı toprağın biyolojik özellikleri üzerine etkileri

Table 3. Effects of biochar applications on the biological properties of some soils

Tekstür	UY	Üreaz Enzim akt. (µg N g.k.t ⁻¹ 2h ⁻¹)	Asit fosfataz Enzim akt. (µg P- N g.k.t ⁻¹)	Alkalen fosfataz Enzim akt. (µg P- N g.k.t ⁻¹)	CO ₂ -Oluşumu (mg CO ₂ /100 g ⁻¹ gün ⁻¹)	Microbiyal biomass-C (mg biyomas-C 100 g.k.t ⁻¹)
Kumlu Killi Tın	0	38,57	29,63	10,53 b	7,21	0,65
	10	48,62	33,89	11,90 b	9,03	0,85
	20	55,00	30,80	9,77 b	15,00	0,76
Ortalama		47,39	31,44b	10,72b	10,41a	0,75
Kumlu Tın	0	65,50	35,35	14,16 b	1,60	0,37
	10	65,57	42,68	22,30 a	3,78	0,72
	20	61,13	44,80	26,12 a	4,03	0,58
Ortalama		64,07	40,95a	20,86a	3,13b	0,55

UY: Uygulamalar (ton/ha)

Hava kuru 2 mm' lik elekten elenmiş farklı bünyeli topraklara belirlenen oranlarda biyokömür ilavesi ile hazırlanan karışımlar, 7 kg'lık saksılara doldurulduktan sonra, toprak çözeltisi iç dinamiklerinin stabil hale gelebilmesi amacıyla 24 saat bekletilmiş ve her saksıya 10 adet olacak şekilde ekim yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra tüm saksılar sulanmış ve bundan sonraki sulamalar hava koşulları ve toprak nemine göre 2 günde bir yapılmıştır. Bitkilerin ekilmesinden 60 gün sonra bitkiler hasat edilerek, bitki ve bitki kök bölgesi toprak örnekleme yapılmıştır. Alınan toprak örnekleri 2 mm'lik elekten elendikten hemen sonra +4°C de buzdolabında bekletilerek analize hazır hale getirilmiş ve biyolojik analizler yapılmıştır.

Deneme toprağına ait bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerin belirlenmesinde tekstür, hidrometre yöntemi, Bouyoucos (1951), toprak reaksiyonu (pH) ve tuzluluk (EC) Richard (1954)' e göre, organik madde Nelson ve Sommers (1982), toplam N, Bremner (1965), yarıyışlı P, Olsen ve ark. (1954), alınabilir K Jackson, (1958)' e göre yapılmıştır. Topraklarda biyolojik analizler; CO₂ üretimi Isermeyer (1952); Mikrobiyal biyomas – C Anderson ve Domsch (1978), üreaz enzim aktivitesi Kandeler ve Gerber (1988)'e göre, asit ve alkalın fosfataz enzim aktivitesi Tabatabai ve Bremner (1969)' e göre saptanmıştır.

Deneme sonunda elde edilen veriler JUMP paket programında tesadüf parselleri deneme desenine göre varyans analizi ile analiz edilmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunan sonuçlar LSD testine göre gruplandırılarak ortalamaların yanında harfli gösterim şeklinde ifade edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Kumlu killi-tınlı ve kumlu-tınlı tekstüre sahip iki farklı toprağına ilave edilerek biyokömürün buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinin rizosfer bölgesindeki biyolojik özellikler (mikrobiyal biomass-C, CO₂-üretimi, üreaz aktivitesi ve asit fosfataz ve alkalın fosfataz aktivitesi) üzerine etkisi sera denemesi ile incelenmiştir (Çizelge 3).

Farklı dozlardaki biyokömür uygulamalarının değişik bünyeli topraklarda üreaz enzim aktivite değerleri istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Ancak sonuçlar incelendiğinde sayısal olarak artış sağlanmıştır. Kumlu tın bünyeye sahip toprağın üreaz enzim aktivite değerleri kumlu killi-tın bünyeye sahip toprağına göre daha yüksek olarak tespit edilmiş olup 10 ton/ha uygulaması sonucunda ise kumlu killi-tın toprağın üreaz enzim aktivitesi, kumlu-tın bünyeye sahip toprağına göre 1.11 kat artış sağlamıştır. Burada biyokömür dozu arttıkça kumlu tınlı, toprağın üreaz enzim aktivitesinin kumlu killi-tın bünyeye sahip toprağına göre daha yüksek olduğu söylenebilir. Üreaz, toprak pH'sına bağlı olarak ürenin amonyak veya amonyuma hidrolizini katalize eden bir enzimdir (Tripathi ve ark., 2007). Nannipieri ve ark., (1983), çalışmalarında toprak içerisindeki N döngüsünde üreaz enzim aktivitesi ile ürenin parçalanarak üreazın oluştuğunu ifade etmişlerdir. Üreaz enzim aktivitesinin artışı mikroorganizma faaliyetlerinin artışının da doğru orantılı artacağı göstermektedir. Kayıkçıoğlu (2018) çalışmasında varyans analizi sonuçlarına göre farklı dozlarda biyokömür uygulamaların üreaz etkinliği üzerinde istatistiksel olarak anlamsız olduğunu bildirmiştir. Ayrıca biyokömürün pH değeri yüksek olduğu için uygulandığı topraklarda pH değerini artırması beklenmektedir.

Kumlu killi-tın ve kumlu tın tekstüre sahip topraklarda, biyokömürün dozları istatistiksel olarak önemli olmamasına rağmen kumlu tın tekstüre sahip topraklar asit fosfataz aktivitesini artırmış ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.01). Kumlu tın tekstüre sahip toprağın asit fosfataz değeri 40.95, kumlu killi-tın tekstüre sahip toprağın ise 31.44 µg P- N g.k.t⁻¹ arasında belirlenmiştir. Biyokömür dozları dikkate alındığında istatistiksel olarak önemli bulunmamakla birlikte doz artışına bağlı olarak enzim aktivitesi de artmış, kumlu killi- tın tekstüre sahip toprakta 10 ton/ha biyokömür uygulaması, kumlu tın bünyeye sahip toprakta ise 20 ton/ha biyokömür uygulamasının etkili olduğu tespit edilmiştir.

Biyokömür uygulamasının farklı bünyelere sahip topraklarda alkalın fosfataz enzim aktivitesi üzerine etkileri, Çizelge 3'de görülmektedir. Sonuçları incelendiğinde kumlu killi-tın ve kumlu tın toprakların doz ve bünyeye olan etkilerinin istatistiksel olarak önemli olarak bulunmuştur ($P < 0,01$). Toprak tekstürü dikkate alındığında yine kumlu tın tekstüre sahip toprakların ön plana çıktığı ve yine dozlar açısından da kumlu tın tekstür de 10 ton/ha ve 20 ton/ha dozlarının en etkili doz olduğu tespit edilmiştir. Alkalın fosfataz enzim aktivitesi değerleri özellikle toprak tekstürü açısından incelendiğinde kumlu tın bünyenin kumlu killi-tın bünyeye oranla yaklaşık 2 kat yüksek olarak saptandığı görülmektedir.

Bitkiler tarafından fosforun alınımı, fosfotaz enzimleri tarafından organik fosfor bileşiklerinin ortofosfata mineralizasyonu ile gerçekleşmektedir. Alkalın fosfatazlar sadece mikroorganizmalar tarafından salgılanır, birçok bakteri türü alkalın fosfataz enzimini üretir. Fosfataz enzim aktivitesinin istatistiksel olarak önemsiz çıkmasının ve topraklarda çok fazla artmamasının sebebi fosfatazın inhibe olması durumunda PO_4^{4-} sentezini engellediği ve ortofosfatın asit ve alkalın fosfataz enzim aktivitesinin organik fosfor bileşiklerinin oluşmasını yani fosfor mineralizasyonunu engellemesi şeklinde açıklanabilir (Chunderova ve Zubets, 1969). Buna ilaveten mikroorganizmalar ve bitkiler, fosfataz enzimlerinin topraktaki ana kaynaklarıdır. Topraktaki fosfor noksanlığında, mikroorganizmalar ve bitki kökleri fosfatın çözünürlüğünü ve mobilizasyonunu yoğunlaştırabilmek için fosfataz enzimlerini yükseltir. Toprağın durumunu yansıtmaya dolayısıyla da fosfataz aktivitesi iyi bir toprak kalite göstergesi olarak değerlendirilmektedir. (Akgül, 2022). Ayrıca ana bitki besin elementlerinin [carbon (C), azot (N), fosfor (P) ve kükürt (S) gibi] döngüsünü katalize eden toprak enzimleri, toprak organik maddesinin dinamiklerini de düzenlemek suretiyle toprak fonksiyonlarını etkilemektedir. Enzim aktiviteleri, toprak yönetimindeki değişikliklere hızlı tepki vermeleri dolayısıyla toprak kalitesinin potansiyel göstergeleri olarak kabul edilmektedirler (Saviozzi ve ark., 2001; Demirbaş ve Coşkan, 2019).

Biyokömür uygulamalarının CO_2 oluşumu üzerine etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Farklı dozlarda biyokömür uygulamaları, değişik tekstüre sahip topraklarda CO_2 oluşumunu olumlu yönde etkilemiş ve artırmıştır. Ayrıca farklı tekstürdeki toprakların etkisi de %1 düzeyinde önemli bulunmuş kumlu killi-tın bünyeye sahip olan en uygun bünye olarak belirlenmiştir. Biyokömür uygulama dozları dikkate alındığında kumlu killi-tın bünyeye sahip olan toprağın CO_2 üretim değerlerinin arttığı ve kontrole göre 10 ton/ha biyokömür uygulamalarının yaklaşık 2,08 kat CO_2 artışı sağladığı görülmektedir. Kumlu tın bünyeye sahip toprak incelendiğinde ise 10 ton/ha dozu kontrole göre yaklaşık 2,51 kat artırmıştır. Gaunt ve Lehmann (2008), biyokömür uygulaması ile toprakta biyolojik aktivite ve CO_2 üretiminin biyokömürün mineralizasyonuna paralel olarak yükseldiğini rapor etmişlerdir.

Biyokömür uygulamalarının mikrobiyal biomass-C değişimlerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ancak dozların mikrobiyal biomass değerlerini artırdığı, kumlu killi-tın toprakta 0,65- 0,85, kumlu tın bünyeye sahip toprakta ise 0,37-0,72 mg biyomas-C 100 g.k.t⁻¹

arasında olduğu görülmektedir. Irmak Yılmaz ve Kurt (2018), Karadeniz Bölgesi topraklarına biyokömür uygulamalarının yapıldığı çalışmalarında, mikrobiyal biyomas-C değerlerini 18,62 ile 26,78 mg $CO_2 - C$ 100 g⁻¹ arasında bulmuştur. Önceki çalışmalarda da biyokömürün yüksek C içeriğine sahip olması, dolayısıyla da C/N oranının yüksek olması sebebiyle topraktaki ayrışma hızının yavaş olduğu ve bu nedenle de etkisini uzun vadede gösterebildiği bildirilmektedir (Tepecik ve ark., 2023).

Sonuç

Buğday bitkisinin kök bölgesindeki enzim aktiviteleri üzerine etkisinin belirlenmesi amacı ile yapılan bu çalışmada, fındık kabuğundan elde edilen biyokömürün farklı dozlarda kullanımının enzim aktivitesini artırdığı ve olumlu yönde etkiler yaptığı belirlenmiştir. Buğday kök bölgesi topraklarının üreaz enzim aktivitesi üzerine, her iki toprak bünyesinde de 10 ton/ha dozu etkili olurken, asit fosfataz enzim aktivitesi İstatistiksel olarak önemli bulunmasa bile kumlu tın tekstüre sahip toprakta 10 ton/ha, kumlu tın bünyede ise 20 ton/ha dozunda daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Alkalın fosfataz enzim aktivitesi ise 10 ton/ha dozu daha uygun olmuştur. CO_2 üretimi ve mikrobiyal biyomas-C değerlerinde ise sırası ile 10 ton/ha ve 20 ton/ha dozları öne çıkmaktadır. Özellikle kumlu tın bünyeye sahip toprağın tüm biyolojik analizlerinin istatistiksel ve rakamsal olarak daha ön planda yer aldığı görülmektedir. Tüm sonuçlar göz önüne alındığında 10 ton/ha dozunun biyolojik özellikleri iyileştirmede yeterli olduğu saptanmıştır.

Kaynaklar

- Adiloglu S, Eryılmaz-Acıkgoz F, Irmak-Yılmaz F, Solmaz Y, Adiloglu A. 2019. The effects of biochar and raising mycorrhiza usage on several mineral ingredient of pak choi. Fresenius Environmental Bulletin, 28(3), 2220-2225.
- Akgül Ş. 2022. Bentonit ve Tavuk Gübresinin Toprağın Biyolojik Özellikleri ile Hercai Menekşe Bitkisinin Gelişimi Üzerine Etkileri, Yüksek lisans tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Anderson JP, Domsch KH. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil biology and biochemistry, 10(3), 215-221.
- Atkinson CJ, Fitzgerald JD, Hipps NA. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. Plant and soil, 337, 1-18. DOI: 10.1007/s11104-010-0464-5
- Bouyoucos GJ. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils 1. Agronomy journal, 43(9), 434-438.
- Bremner JM. 1965. Total nitrogen. Methods of soil analysis. Agronomy, 9, 1149-1178.
- Chunderova AI, Zubeta T. 1969. Phosphatase activity in dermopodzolic soils. Pochvovedenie, 11, 47-53.
- Demirbaş A, Coşkan A. 2019. Biyokömür ve Kadmiyum Uygulamalarının Mısır Bitkisinin Verimine ve Besin Elementleri Alımına Etkileri. Turkish Journal of Agriculture: Food Science and Technology. 7(sp2): 109-114. DOI: https://doi.org/10.24925/turjaf.v7isp2.109-114.3169
- Dhanda SS, Sethi GS and Behl RK. 2004. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. J. Agronomy & Crop Science, 190 : 6-12. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2004.00592.x

- Erdem H. 2021. The effects of biochars produced in different pyrolysis temperatures from agricultural wastes on cadmium uptake of tobacco plant. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(7), 3965-3971. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.016>
- Gaunt JL, Lehmann J. 2008. Energy balance and emissions associated with biyokömür sequestration and pyrolysis bioenergy production. *Environ. Science. Technology*. 42: 4152–4158. DOI: <https://doi.org/10.1021/es071361i>
- Isermeyer H. 1952. Estimation of soil respiration in closed jars. Method in applied soil microbiology and biochemistry. Academy, London, 214-216.
- Jackson M. 1958. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Jeffery S, Abalos D, Prodana M, Bastos AC, Van Groenigen J. W, Hungate BA, Verheijen F. 2017. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environmental Research Letters*, 12(5), 053001. DOI: 10.1088/1748-9326/aa67bd
- Kandeler E, Gerber H. 1988. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biology and fertility of Soils*, 6, 68-72.
- Kayıkcioglu HH. 2018. Can treated wastewater be used as an alternative water resource for agricultural irrigation? Changes in soil and plant health after three years of maize cultivation in western Anatolia, Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(6), 8131-8161. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aer/1606_81318161
- Kılıç R, Korkmaz K. 2012. Kimyasal gübrelerin tarım topraklarında artık etkileri. *Research Journal of Biology Sciences*, 5(2):87-90.
- Korkmaz K. 2007. Küresel ısınma ve tarımsal uygulamalara etkisi. *Alatarım*, 6(2): 43-49.
- Korkmaz K, Ibriki H, Karnez E, Buyuk G, Ryan J, Ulger AC, Oguz H. 2009. Phosphorus use efficiency of wheat genotypes grown in calcareous soils, *Journal of Plant Nutrition*, 32:12:2094-2106. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904160903308176>
- Korkmaz K, Ergin MN, Akgün M. 2021. The influence of humic deposit (gyttja) application on some selected soil properties and yield-quality of hazelnut in acid conditions. The influence of humic deposit (gyttja) application on some selected soil properties and yield-quality of hazelnut in acid conditions, 279-293.
- Lehmann J, da Silva Jr JP, Steiner C, Nehls T, Zech W, Glaser B 2003 Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, *Plant and Soil* 249: 343–357.
- Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC, Crowley D. 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC, Crowley D. 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836. DOI:10.1016/j.soilbio.2011.04.022
- Lehmann J. 2007. A handful of carbon. *Nature* 447:7141 2007 : 143-144.
- Luo L, Gu JD. 2016. Alteration of extracellular enzyme activity and microbial abundance by biochar addition: Implication for carbon sequestration in subtropical mangrove sediment. *Journal of environmental management*, 182, 29-36. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.040>
- Madari BE, Silva MA, Carvalho MT, Maia AH, Petter FA, Santos JL, ... & Zeviani WM. 2017. Properties of a sandy clay loam Haplic Ferralsol and soybean grain yield in a five-year field trial as affected by biyokömür amendment. *Geoderma* 305: 100-112. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.029>
- Mosa A, Mansour MM, Soliman E, El-Ghamry A, El Alfay M, El Kenawy AM. 2023. Biochar as a Soil Amendment for Restraining Greenhouse Gases Emission and Improving Soil Carbon Sink: Current Situation and Ways Forward. *Sustainability*, 15(2), 1206. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15021206>
- Nannipieri P, Sastre I, Landi L, Lobo MC, Pietramellara G. 1996. Determination of extracellular neutral phosphomonoesterase activity in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(1), 107-112.
- Naeem MA, Khalid M, Aon M, Abbas G, Amjad M, Murtaza B, Khan WUD, Ahmad N. 2018. Combined application of biochar with compost and fertilizer improves soil properties and grain yield of maize. *Journal of Plant Nutrition*, 41(1), 112-122. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381734>
- Nelson DW, Sommers LE. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5, 961-1010.
- Ni M, Leung DY, Leung MKH, Sumathy K. 2006. An Overview Of Hydrogen Production From Biomass. *Fuel Processing Technology*, 87:461-472. DOI:10.1016/j.fuproc.2005.11.003
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean LA. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept. of Agric. Cir. 936.
- Richard LA. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture Handbook, 60, 94
- Saviozzi A, Levi-Minzi R, Cardelli R, Riffaldi R. 2001. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. *Plant and soil*, 233, 251-259. <https://doi.org/10.1023/A:1010526209076>
- Tabatabai MA, Bremner JM. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil biology and biochemistry*, 1(4), 301-307.
- Tepecik M, Kayıkcioglu HH, Kılıç S. 2022. Farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen biyokömürün mısır bitkisinin bitki besin elementleri üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 59(1), 171-181. DOI: <https://doi.org/10.20289/zfdergi.894427>
- Tripathi S, Chakraborty A, Chakrabarti K, Bandyopadhyay BK. 2007. Enzyme activities and microbial biomass in coastal soils of India. – *Soil Biology and Biochemistry* 39(11): 2840-2848. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.05.027>
- Yılmaz FI, Kurt S. 2018. Biyokömür ve vermikompost uygulamalarının toprağın bazı biyolojik özellikleri üzerine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(2), 143-150.
- Zhang H, Yu X, Jin Z, Zheng W, Zhai B, Li Z. 2017 Improving grain yield and water use efficiency of winter wheat through a combination of manure and chemical nitrogen fertilizer on the Loess plateau, China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17 2 : 461-474.